



(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2005-142982  
(P2005-142982A)

(43) 公開日 平成17年6月2日(2005.6.2)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	F i	テーマコード (参考)
H O 1 P 1/12	H O 1 P 1/12	5 J O 1 2
B 8 1 B 3/00	B 8 1 B 3/00	
B 8 1 C 1/00	B 8 1 C 1/00	
H O 1 H 59/00	H O 1 H 59/00	

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号 (22) 出願日	特願2003-379390 (P2003-379390) 平成15年11月10日 (2003.11.10)	(71) 出願人 000005108 株式会社日立製作所 東京都千代田区丸の内一丁目 6 番 6 号 (71) 出願人 000153535 株式会社日立メディアエレクトロニクス 岩手県水沢市真城字北野 1 番地 (74) 代理人 100068504 弁理士 小川 勝男 (74) 代理人 100086656 弁理士 田中 恭助 (72) 発明者 磯部 敦 東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目 2 8 0 番地 株式会社日立製作所中央研究所内
		最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 高周波MEMSスイッチ及びその製造方法

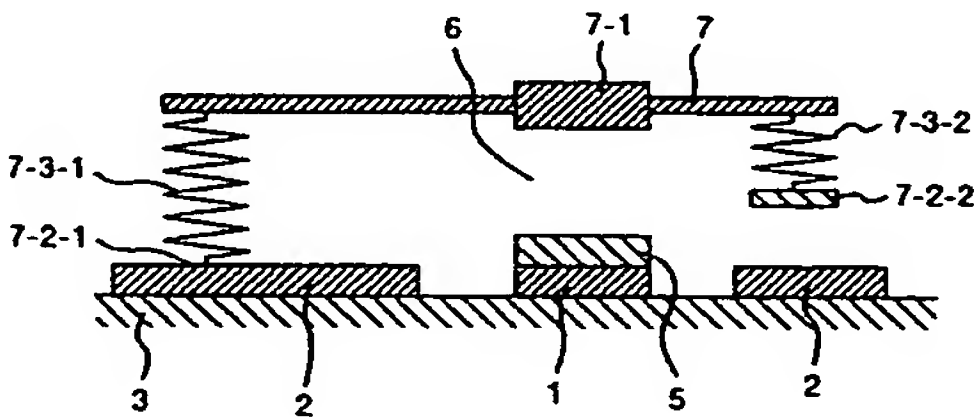
(57) 【要約】

【課題】 低い電圧で安定に動作する安価なMEMSスイッチ及びその製造方法を提供すること。

【解決手段】 基板3上に形成された第一のアンカ7-2-1と、第一のアンカに接続した第一のバネ7-3-1と、第一のバネに接続し、第一のバネに弾性変形を与えて基板3の上方で運動をする上部電極7-1と、上部電極の下方に位置する基板上に形成された下部電極1と、上部電極に接続した第二のバネ7-3-2と、第二のバネに接続した第二のアンカ7-2-2とを備え、上部電極と下部電極との間に電圧が印加されて上部電極が下方に運動するとき、第二のアンカが基板に接触して第二のバネが弾性変形を起こし、続いて上部電極が下部電極に接触することにより、上部電極と下部電極とが電氣的に接続される。第一、二のアンカ、第一、二のバネ及び上部電極が同一金属によって一体構造で作製され、メンブレン7となる。

【選択図】 図1

図 1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

基板と、  
上記基板上に形成された第一のアンカと、  
上記第一のアンカに接続した第一のバネと、  
上記第一のバネに接続し、上記第一のバネに弾性変形を与えて上記基板の上方で運動をする上部電極と、  
上記上部電極の下方に位置する上記基板上に形成された下部電極と、  
上記上部電極に接続した第二のバネと、  
上記第二のバネに接続した第二のアンカとを具備し、  
上記上部電極と上記下部電極との間に電圧が印加されて上記上部電極が下方に運動するとき、上記第二のアンカが上記基板に接触して上記第二のバネが弾性変形を起こし、続いて上記上部電極が上記下部電極に接触することにより、上記上部電極と上記下部電極とが電氣的に接続されることを特徴とするMEMSスイッチ。

10

## 【請求項 2】

上記第一のバネと上記第一のアンカと上記第二のバネと上記第二のアンカと上記上部電極とが一体構造を成し、且つ連続した金属体によって形成されていることを特徴とする請求項 1 に記載のMEMSスイッチ。

## 【請求項 3】

上記下部電極は絶縁体膜を表面に含み、上記上部電極が表面に絶縁体膜を含んだ上記下部電極に接触することにより、上記上部電極と上記下部電極との間に電氣的容量が形成されることを特徴とする請求項 1 に記載のMEMSスイッチ。

20

## 【請求項 4】

上記金属がアルミニウムを主成分とする金属であることを特徴とする請求項 2 に記載のMEMSスイッチ。

## 【請求項 5】

上記第一のバネの主な復元力が固体のねじれに対する弾性力であり、第二のバネの主な復元力が固体のたわみに対する弾性力であることを特徴とする請求項 1 に記載のMEMSスイッチ。

## 【請求項 6】

上記第二のアンカの下方の上記基板上に金属体が形成されていることを特徴とする請求項 1 に記載のMEMSスイッチ。

30

## 【請求項 7】

上記上部電極は、該上部電極の厚さよりも大きいディップを有することを特徴とする請求項 1 に記載のMEMSスイッチ。

## 【請求項 8】

上記第一のバネを挟んで両側に上記上部電極と上記第二のバネと上記第二のアンカとがこの順に取り付けられてプッシュプル構造を成すことを特徴とする請求項 1 に記載のMEMSスイッチ。

## 【請求項 9】

40

基板と、  
上記基板上に形成された第一のアンカ構造と、  
上記第一のアンカ構造に接続した第一のバネと、  
上記第一のバネに接続し、上記第一のバネに弾性変形を与えて上記基板の上方で運動をする上部電極と、  
上記上部電極の下方に位置する上記基板上に形成された下部電極と、  
上記上部電極に接続した第二のバネと、  
上記第二のバネに接続した第二のアンカとを具備し、  
上記上部電極と上記下部電極との間に電圧が印加されて上記上部電極が下方に運動するとき、上記第二のアンカが上記基板に接触して上記第二のバネが弾性変形を起こし、続いて

50

て上記上部電極が上記下部電極に接触することにより、上記上部電極と上記下部電極とが電氣的に接続されるMEMSスイッチの製造方法であって、

上記下部電極を上記基板上に形成する工程と、

上記下部電極を形成した上記基板上に、成膜とパタンニングを行なって少なくとも2層の犠牲膜を形成する工程と、

上記犠牲膜の上に1回の金属膜の成膜とそのパタンニングにより、上記第一のバネと上記第一のアンカと上記第二のバネと上記第二のアンカと上記上部電極とを一体構造で形成する工程と、

上記犠牲膜を除去する工程とを具備することを特徴とするMEMSスイッチの製造方法。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems) スイッチ及びその製造方法に係り、特に数百メガヘルツから数ギガヘルツ以上の広い周波数の電気信号をオン／オフするMEMSスイッチ及びその製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、電気信号をオン／オフする微細な電気機械部品として、MEMSスイッチが知られている。例えば、特許文献1に開示されたMEMSスイッチは、半導体装置の製造に用

20

【0003】

上部及び下部電極に電圧が印加されないときは接触部と信号線が離れ、スイッチはオフ状態になっている。電圧が印加されると上部電極と下部電極の間に働くクーロン力によってアームが弾性変形して基板側に曲がり、接触部が信号線に接触する。それによって、スイッチがオン状態になる。

【0004】

さて、携帯電話などでは、電池を電源とするため、3V程度でスイッチ動作する必要がある。動作電圧を下げるために、バネの復元力を小さくせざるを得ないが、そのように復元力を弱くするとスティクションにより、上部電極と下部電極、又は接触部と信号線が離れなくなってしまう。そのため、動作電圧の低電圧化が困難になる。

30

【0005】

この問題に対する解決方法の一例として、バネの途中に突起を設けることにより、スティクションを起こしたときの復元力を大きくする方法が特許文献2に開示されている。

【0006】

【特許文献1】特開平9-17300号公報

【0007】

【特許文献2】特開2002-326197号公報

40

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

上述の従来のMEMSスイッチには、以下の問題点がある。

【0009】

バネの途中に突起を設けると、部分的にバネを構成する膜構造（以下「メンブレン」という）が多層構造になる。メンブレンを多層構造にすると、残留内部応力が発生し、バネの弾性係数が大きくなり、低電圧化に限界が生じる。また各層の内部応力の差、熱膨張率の差により、メンブレンが湾曲する。

50



## 【0010】

例えば、100マイクロメートル長のメンブレンに曲率半径600マイクロメートルの湾曲が発生すると、変形はメンブレンの中心部で2マイクロメートルとなる。下凸に湾曲すると電圧を加える前に上下電極は接触してしまう。また上凸に湾曲するとギャップが4マイクロメートルとなり、動作電圧が4倍に上がってしまう。

## 【0011】

このため、湾曲を極めて高い精度で抑圧する必要がある。また、多層膜を用いた場合、室温で湾曲がなくても、熱膨張率の差により、室温よりも高温又は低温になると湾曲が発生してしまう。このため、多層膜を用いたMEMSスイッチでは、湾曲の抑圧することが極めて難しく、また低電圧で動作できる温度範囲が著しく狭くなることが避けられない。

10

## 【0012】

本発明の主たる目的は、これらの課題を解決し、低い電圧で安定に動作するMEMSスイッチ及びその製造方法を提供することにある。

## 【0013】

更に、本発明の付加的な目的は、構造が簡単で高い加工精度が得られるメンブレンを備えた安価なMEMSスイッチ及びその製造方法を提供することにある。

## 【課題を解決するための手段】

## 【0014】

上記主たる目的を達成するための本発明のMEMSスイッチは、基板上に形成された第一のアンカと、第一のアンカに接続した第一のバネと、第一のバネに接続し、第一のバネに弾性変形を与えて基板の上方で運動をする上部電極と、上部電極の下方に位置する基板上に形成された下部電極と、上部電極に接続した第二のバネと、第二のバネに接続した第二のアンカとを備えており、上部電極と下部電極との間に電圧が印加されて上部電極が下方に運動するとき、第二のアンカが基板に接触して第二のバネが弾性変形を起こし、続いて上部電極が下部電極に接触することにより、上部電極と下部電極とが電氣的に接続されることを特徴とする。

20

## 【0015】

上記構造において、上部電極と下部電極との間に電圧が印加されて上部電極が基板に近づき、クーロン力が高まった段階で第二のバネが働き、続いて上部電極が下部電極に接触してスイッチはオンとなる。電圧の印加を止めてスイッチがオフとなるとき、第一のバネと第二のバネの両者の復元力を加えた強い復元力が得られ、確実に上部電極が下部電極から離れる。そのことから、第一のバネの復元力を弱くすることが可能になり、印加電圧を低電圧にすることが可能になる。

30

## 【0016】

更に、上記付加的な目的を達成するために、上記の第一のバネ、第一のアンカ、第二のバネ、上記第二のアンカ及び上部電極は一体構造を成してメンブレンとなり、且つ連続した同一の金属体によって形成されることが望ましい。一体構造のメンブレンが金属膜の1回の成膜とパターンニングによって得られ、構造が簡単で高い加工精度が得られるメンブレンを備えた安価なMEMSスイッチ及びその製造方法を実現することができる。

## 【発明の効果】

40

## 【0017】

本発明によれば、メンブレンに宙に浮いた第二のアンカを設定したことにより、スティクションを防止することができ、その結果、MEMSスイッチのスイッチング電圧を下げる事が可能になる。更に、メンブレンの各バネと各アンカと上部電極を一体構造としたことにより、低電圧動作のMEMSスイッチを安価に提供できる効果がある。加えて、メンブレンの不要な湾曲を抑えることができるため、設計が容易になり、かつ製造偏差を抑えることができ、一層安価なMEMSスイッチを提供する効果がある。

## 【発明を実施するための最良の形態】

## 【0018】

以下、本発明に係るMEMSスイッチを図面に示した幾つかの好ましい実施形態を参照

50

して、更に詳細に説明する。

【0019】

図1に本発明の第一の実施形態を模式図で示す。絶縁基板3上に信号線路1とグランド2が形成されている。絶縁基板3は、例えばガラス基板、化合物半導体基板、高抵抗シリコン基板、圧電体基板などの絶縁材料で形成されている。絶縁基板3はまた、酸化ケイ素に代表される絶縁膜で表面を覆った半絶縁体基板、又は導電体基板でも良い。

【0020】

信号線1は、所定の距離に設置されたグランド2と合せて、図面表裏方向に伸びるコプレーナ型高周波信号線路として機能している。信号線1の表面は誘電体膜5で覆われている。誘電体膜5の上部に、ギャップ6を挟んでメンブレン7が設置されている。メンブレン7は、上部電極7-1と複数のアンカ7-2と複数のバネ7-3で構成されている。上部電極7-1と複数のアンカ7-2と複数のバネ7-3は、全て低抵抗の金属材料で一体構造で構成されている。上部電極7-1に第一のバネ7-3-1と第二のバネ7-3-2が接続されている。第一のバネ7-3-1は第一のアンカ7-2-1と、第二のバネ7-3-2は第二のアンカ7-2-2と接続されている。第一のアンカ7-2-1は絶縁基板3と機械的に接続されている。いずれのバネ7-3も変位と復元力が線型である線型バネである。

【0021】

グランド2は高周波的に接地されていることに加えて、直流的にも接地（直流電位0V）されている。従って、上部電極7-1は、第一のバネ7-3-1と第一のアンカ7-2-1を介して接地されている。

【0022】

図2は、MEMSスイッチとその制御回路の等価回路図である。上部電極7-1は、信号線1に並列に接続された容量型スイッチ50として機能する。ここで、信号線1は直流的に浮いており、信号線1に高周波に対して高いインピーダンスを呈するインダクタンスL及び抵抗Rを介して制御端子4-3が接続されている。このようにして、信号線1はスイッチの下部電極の機能も有する。即ち、制御端子4-3に制御用の直流電圧を与えると、インダクタンスL及び抵抗Rを経て信号線1即ち下部電極に同直流電圧が印加される。

【0023】

信号線1に直流電圧を印加していない（直流電位0V）のとき、図1に示すように、上部電極7-1は第一のバネ7-3-1と第二のバネ7-3-2で機械的に保持されており、信号線1から十分離れているため、上部電極7-1と信号線路1間の容量値は非常に小さい（スイッチオフ状態）。このとき、信号線1に流れる高周波信号は、その入力端子4-1から出力端子4-2に低損失に伝わる。

【0024】

信号線1に直流電圧を印加した場合、上部電極7-1と信号線1即ち下部電極との間にクーロン力が発生する。バネの復元力よりもクーロン力が強い場合、上部電極7-1は絶縁膜5に張り付くように接触する（スイッチオン状態）。

【0025】

このスイッチオン状態のとき、上部電極7-1が誘電体膜5を挿んで信号線1に接近するため、上部電極7-1と信号線1間の容量値は非常に大きくなり、高周波では信号線1は接地されたのと同等となる。このとき入力端子4-1から信号線1に流れる高周波信号は、その大部分が上部電極7-1が誘電体膜5に接している部分で反射されるため、出力端子4-2にはほとんど到達しない。

【0026】

直流電圧を印加した直後では、第二のアンカ7-2-2が宙に浮いているため、第二のバネ7-3-2は機能しない。第一のバネ7-3-1が所定量変形し、第二のアンカ7-2-2が基板と接触すると、第二のバネ7-3-2は、復元力を持つバネとして機能する。

【0027】

信号線1の中心部の直上の上部電極7-1の移動距離と、そのときに上部電極7-1に働くバネの復元力の関係を図3に示す。ここで、上部電極7-1と信号線1は平行であると仮定し

10

20

30

40

50

ている。アンカ7-2-2と直下のグラウンド2との間の距離は、上部電極7-1と直下の誘電体膜5との間の距離の $3/4$ に設定されている。そのため、アンカ7-2-2が直下のグラウンド2に接触した状態では、上部電極の変位は、オフとオンとの間の $3/4$ に設定される。

#### 【0028】

上記のように動作する静電駆動型MEMSスイッチでは、臨界変位はギャップの $1/3$ であり、0から $1/3$ までの間でバネ復元力とクーロン力が最も拮抗する。そのため、 $1/3$ でのバネ復元力がスイッチをオン状態にするための印加電圧、即ちプルイン電圧を決める。本実施形態は、図3で示すように、0から $3/4$ の領域ではアンカ7-2-2は宙に浮いているため、0から $1/3$ 領域のバネ復元力が弱く設定されている。第一のバネ7-3-1のバネ係数を $0.156\text{ N/m}$ に設定することにより、プルイン電圧を3Vより小さく設定することが可能になる。

10

#### 【0029】

静電駆動型MEMSスイッチでは、オン状態で接触した上部電極7-1と誘電体膜5との間のスティクションが重要な問題となる。スティクションがバネの復元力より強いと、電圧を0Vに戻しても上部電極7-1が誘電体膜5に接触したままとなり、オフ状態にならない問題が生じる。本実施形態におけるオン状態では、上部電極7-1が誘電体膜5に接近してクーロン力が高まってからアンカ7-2-2がグラウンド2と接触するため、第二のバネ7-3-2の復元力を強く設定することが可能になる。従って、第二のバネ7-3-2のバネ係数は、接触張力が比較的高い $20\text{ }\mu\text{N}$ でも安定にオフ状態に戻るよう設定することができ、具体的には本実施形態では第一のバネ7-3-1よりも大幅に強い $7.31\text{ N/m}$ に設定される。

20

#### 【0030】

以上により、本発明では、第一のバネと、第二のバネを有し、第一のバネのバネ係数を $0.156\text{ N/m}$ とし、第二のバネを $7.31\text{ N/m}$ とし、第二のバネの動作領域を $3/4 \sim 1$ としたことにより、低い電圧で安定に動作する高周波用のMEMSスイッチを提供することが可能になった。

#### 【0031】

図4、図5及び図6に本発明の第二の実施形態を示す。絶縁基板3上にA1膜により信号線1とグラウンド2が形成されている。絶縁基板3は熱酸化膜で覆われた高抵抗シリコン基板で形成されている。信号線1は、所定の距離に設置されたグラウンド2と合せて、図5の上下方向に伸びるコプレーナ型高周波信号線路として機能している。信号線1とグラ

30

#### 【0032】

誘電体膜5の上部に、ギャップ6を挟んでメンブレン7が設置されている。メンブレン7は上部電極7-1と複数のアンカ7-2と複数のバネ7-3で構成されている。上部電極7-1と複数のアンカ7-2と複数のバネ7-3は全てアルミニウム膜で構成されている。

#### 【0033】

上部電極7-1に第一のバネ7-3-1と第二のバネ7-3-2が接続されている。第一のバネ7-3-1は第一のアンカ7-2-1と、第二のバネ7-3-2は第二のアンカ7-2-2と接続されている。第一のアンカ7-2-1は絶縁基板3と機械的に接続されている。グラウンド2は高周波的に接地されていることに加えて、直流的にも接地（直流電位0V）されている。上部電極7-1は、第一のバネ7-3-1と第一のアンカ7-2-1を介して接地されている。

40

#### 【0034】

本実施形態のスイッチの電気回路は、図3と同様である。上部電極7-1は、信号線1に並列腕に接続された容量型スイッチとして機能する。ここで信号線1はスイッチの下部電極の機能も有する。

#### 【0035】

第一のバネ7-3-1は、ねじれバネとして機能し、長さ $50\text{ }\mu\text{m}$ 、幅 $2\text{ }\mu\text{m}$ 、厚さ $2\text{ }\mu\text{m}$ である。それにより、ねじれバネ係数は $0.16\text{ N/m}$ に設定されている。第二のバネ7-3-2は、たわみバネとして機能しており、長さ $40\text{ }\mu\text{m}$ 、幅 $0.5\text{ }\mu\text{m}$ 、厚さ $2\text{ }\mu\text{m}$ である。それにより、たわみバネ係数は $1.7\text{ N/m}$ に設定されている。

50



【0036】

上部電極7-1は長さ50 $\mu$ m、幅200 $\mu$ mに設定されている。第一のバネ7-3-1と上部電極7-1との距離は125 $\mu$ m、上部電極7-1と誘電体膜5との間のギャップは2 $\mu$ m、第二のアンカ7-2-2とグランド2とのギャップは1.5 $\mu$ mに設定されている。そのため、第二のアンカ7-2-2がグランドと接触するとき、上部電極7-1の中心部と誘電体膜5との間のギャップは1.1 $\mu$ mである。

上部電極7-1と信号線1が平行でない場合の両者間の静電容量Cは、式(1)のように、

【0037】

【数1】

$$C = \frac{\epsilon S}{g-h} \log \frac{g}{h} \quad \dots (1)$$

10

で表される。ここで $\epsilon$ は誘電率、Sは上部電極7-1の面積、gは最も広いギャップ距離、hは最も狭いギャップ距離である。上部電極7-1にかかるクーロン力 $F_q$ は、回転運動を無視すると、式(2)のように近似的に

【0038】

【数2】

$$F_q = -\frac{1}{2} \frac{\epsilon S}{gh} V^2 \quad \dots (2)$$

20

で表すことができ、臨界点は1/3より小さくなる。そのため、アンカ7-2-2がグランド2に接触するときの上部電極7-1の位置を1/3より大きくする必要がある。そのときの上部電極7-1の位置は、両アンカからの距離に依存する。第二のアンカ7-2-2の直ぐ横に上部電極を設置した場合、第二のアンカ7-2-2はギャップの2/3以下、両アンカの中点に設置した場合、1/3以下とすることで効果が生じる。

【0039】

本発明では、第一のバネと、第二のバネを有し、第一のバネのバネ係数を0.16N/mとし、第二のバネを1.6N/mとし、第二のバネの動作領域をギャップに対する上部電極7-1の変位の比率0.55~1としたことにより、低い電圧で安定に動作する高周波用のMEMSスイッチを提供している。またメンブレンを複雑な多層構造にしないため、MEMSスイッチを安価に実現している。

30

【0040】

図7、図8及び図9に本発明の第三の実施形態を示す。第二の実施形態とは異なり、第一のバネ7-3-1と第二のバネ7-3-2は、共にたわみバネとして機能する。本発明の効果はバネの種類に無関係であり、たわみバネでも同様の効果がある。なお、第一のバネのバネ係数を特に小さくする必要がある場合には、小型で弱いバネを実現できるねじれバネを用いた方がMEMSスイッチを小さくすることができ、コストを下げることもできる。

【0041】

図10及び図11に本発明の第四の実施形態を示す。本発明は、第三の実施例を改善したものであり、バネにミアンダ（曲折構造）を用いている。ミアンダを用いることで、小型にでき且つバネ係数を小さくすることができる。設計及び試作により、各バネ係数を第一、第二の実施形態と同じ値に追い込むことが可能であり、同じ効果が得られる。

40

【0042】

図12に本発明の第五の実施形態を示す。バネにミアンダを用いている点は、第四の実施形態と同じであるが、第一のバネ7-3-1は互いに対向する2辺に配置され、第二のバネ7-3-2は、他方の2辺に配置されている。ミアンダを用いることで、小型にでき且つバネ係数を小さくすることができるほか、各バネが2辺に配置されることにより、上部電極7-1を基板に水平を保って安定に動作させることができる。

50



## 【0043】

図13及び図14に本発明の第六の実施形態を示す。本実施形態は、上述の第二の実施形態の第一のバネ7-3-1と上部電極7-1の間に第三のバネ7-3-3を設置した構造になっている。第三のバネ7-3-3のバネ係数は、第一のバネ7-3-1より強く、第二のバネ7-3-2より弱く設定されている。第三のバネ7-3-3を設けたことにより、オン状態のとき、ねじれバネである第一のバネ7-3-1がたわむことを防ぐ効果がある。

## 【0044】

図15及び図16にプッシュプル構造に本発明を適用した第七の実施形態を示す。本実施形態は、第六の実施形態の上部電極7-1を第一のバネ7-3-1の左右に設置した構造になっている。第三のバネ7-3-3を設けたことにより、オン状態のとき、ねじれバネである第一のバネ7-3-1がたわむことを防ぐ効果があるため、反対側が高く持ち上がり、オフ特性を著しく向上させる効果がある。また第二のアンカ7-2-2があるため、高く持ち上がった上部電極を小さいクーロン力で復元することができ、その結果一層の低電圧でスイッチング動作をさせることができる。

## 【0045】

図17は第七の実施形態を1入力2出力スイッチ51として用いた高周波スイッチとその制御回路の等価回路図である。本実施形態では、メンブレン7は接地に接続されるのではなく入力端子4-1に接続され、また、アンカ7-2-2の下方の基板3上に、接地に接続されない島上の金属体9が形成されている。そして、メンブレン7の上部電極7-1が左側の信号線1-1に高周波的に接続してその出力端子4-2-1に接続するか、又は右側の信号線1-2に高周波的に接続してその出力端子4-2-2に接続するかの動作が行なわれる。

## 【0046】

具体的には、出力ポート4-2-1は高周波信号を遮断する抵抗R1及びインダクタンスL1を介して直流的に3Vに、出力ポート4-2-2は高周波信号を遮断する抵抗R2及びインダクタンスL2を介して直流的に接地されている。容量C1は、直流3Vの端子を高周波的に接地するために用いられる。また、メンブレン7は、容量C2によって直流的に浮いており、制御端子4-3に高周波信号を遮断する抵抗R3及びインダクタンスL3を介して制御電圧が印加される。そのため、制御端子4-3に3Vを印加した場合、高周波的に入力端子4-1は出力端子4-2-2に接続され、制御端子4-3に0Vを印加した場合、出力ポート4-2-1に接続される。第六の実施例はオフ状態でのアイソレーションに優れているため、低損失の1入力2出力スイッチをプッシュプル型の一個のスイッチで実現することができる。

## 【0047】

図18、図19及び図20に本発明の第八の実施形態を示す。上述の第二の実施形態の上部電極7-1にディップ（くぼみ）8が設けられている。メンブレン7の湾曲して欲しくない場所に、メンブレンの膜厚より深いディップ8が直線方向に二本形成されている。ディップ8があると、その部分の湾曲に対する剛性が増すため、メンブレン7は、外力が生じてディップ8の直線方向に湾曲し難くなる。上部電極7-1に十字形にディップ8が形成されているため、上部電極7-1の湾曲を抑えることができる。また、ディップを第一のバネ7-3-1に設けることも可能であり、ディップにより第一のバネ7-3-1のたわみを抑えることができる。

## 【0048】

以上の第一～第八の実施形態を実現するに当たり、上部電極7-1と信号線1とのギャップ距離、及び第二のアンカ7-2-2とグランド2との間のギャップ距離を高精度に制御する必要がある。本発明のこれら実施形態では、上部電極7-1及び第二のアンカ7-2-2を含むメンブレン7が一体構造で作成されるため、ギャップ距離を高精度に制御することができる。

## 【0049】

しかしながら、従来の製造方法でメンブレン7を作成すると、第二のアンカ7-2-2とグランド2との間のギャップ距離を高精度に制御することができない。ここで、以下にこのことについて説明する。

## 【0050】

例えば、本発明の第二の実施形態の第二のアンカ7-2-2を基板3側に作成した従来製法によるスイッチの断面図を図21に示す。第二のアンカ7-2-2を形成した後に犠牲層を塗布し、メンブレン7を成膜するため、第二のアンカ7-2-2とメンブレン7との間のギャップ距離は、上部電極7-1と信号線1とのギャップ距離とほぼ同じとなり、本発明の効果はない。

【0051】

また、犠牲層の材料を選定することと第二のアンカ7-2-2を細くすることにより、多少ギャップを小さくすることは可能であるが、制御性が悪く、製造工程が著しく複雑にする。

【0052】

なお、メンブレン7の成膜前に犠牲層表面を平坦化研磨することにより本発明と類似な効果を得ることはできるが、研磨剤と回転板を用いた研磨では犠牲層膜厚をサブミクロンのオーダーで制御することは不可能であり、またイオンやイオンクラスタを用いた表面平坦化装置を用いても膜厚制御性とスループットが悪く、また高価な装置が必要となり、低コストのスイッチを提供することができない。

【0053】

本発明の第二の実施例の第二のアンカ7-2-2をメンブレン7側に作成した別の従来製法によるスイッチの断面図を図22に示す。犠牲層を塗布した後に第二のアンカ7-2-2とメンブレン7を成膜するため、図21に示した場合と同様に、第二のアンカ7-2-2とメンブレン7との間のギャップ距離は、上部電極7-1と信号線1とのギャップ距離とほぼ同じとなり、本発明の効果はない。

【0054】

なお、第二のアンカ7-2-2を形成する前に犠牲層表面に窪み設けることにより本発明と類似な効果を得ることはできるが、窪みの深さをサブミクロンのオーダーで制御することは不可能であり、またストッパ層を用いると、高価な装置と複雑な技術が必要となり、低コストのスイッチを提供することができない。

【0055】

そもそも、図22に示す従来のスイッチでは、第二のアンカ7-2-2を付加的に設けたことにより、メンブレン7の一体構造が崩れる。その結果、第二のアンカ7-2-2と接続した部分のメンブレン7の湾曲を抑える条件でメンブレン7を成膜すると、他のメンブレン部分で湾曲が発生する。他のメンブレン部分の湾曲を抑える条件でメンブレン7を成膜すると、第二のアンカ7-2-2と接続したメンブレン部分で湾曲が発生する。

【0056】

前記したように、本発明のメンブレン7は一体構造であるため、成膜プロセス条件を最適化することにより、湾曲を容易に抑えることができる。

【0057】

図23に本発明の第二の実施形態の製造方法を示す。基板3上(図23のa)に金属膜1、2の成膜(図23のb)/パターニング(図23のc)、絶縁膜5の成膜(図23のc)/パターニング(図23のd)を行ない、信号線1とグラウンド2と誘電体膜5を形成する(図23のd)。

【0058】

金属膜1、2には、抵抗加熱蒸着法により、アルミニウムを厚さ200nm成膜した。なお、スパッタ法により成膜すると、アルミニウムの表面平坦度が優れ、オン状態の電気特性を更に良くすることができる。また、アルミニウムの代わりに金を電子ビーム蒸着機で成膜すると、抵抗値を小さくすることができる。金の上にメッキ法により更に金を積層することにより、より抵抗値を小さくすることができる。ここで蒸着により金を成膜する場合、隣接層との接着層としてチタン、クロム、モリブデン等を50nm程度設けることにより、密着性を高めることができる。

【0059】

誘電体膜5はスパッタ法により、二酸化珪素を100nm成膜した。また、二酸化珪素

10

20

30

40

50

の代わりに酸化アルミニウムや窒化珪素、窒化アルミニウムを用いると、それらの誘電率が大きいため、オン状態の電気特性を良くすることができる。

【0060】

次に、誘電体膜5上にポリイミドの成膜(図23のe)/パターンニング(図23のf)を二度行ない(図23のg、h)、犠牲膜(20-1、20-2)を形成する。犠牲膜(20-1、20-2)は、回転塗布法により、各ポリイミドを厚さ1100nm成膜した。感光性ポリイミドを用いると、塗布、露光、エッチングを2回行なうことで犠牲膜を形成することができるため、プロセスが簡略化することができ、低価格のスイッチを提供することができる。

【0061】

次に犠牲層(20-2)上に金属膜7の成膜(図23のi)/パターンニング(図23のj)を行ない、メンブレン7を形成する。金属膜7は、電子ビーム加熱蒸着法により、アルミニウムを厚さ2000nm成膜した。このようにして、一体構造のメンブレン7が1回の金属膜の成膜とパターンニングによって形成される。

【0062】

なお、スパッタ法により成膜すると、アルミニウムの表面平坦度が優れ、ウェハ内の素子の偏差を小さくすることができる。また、アルミニウムの代わりに金を電子ビーム蒸着機で成膜すると、抵抗値を小さくすることができる。金の上にメッキ法により、更に金を積層することにより、より抵抗値を小さくすることができる。ここで、蒸着により金を成膜する場合、隣接層との接着層としてチタン、クロム、モリブデン等を50nm程度設けることにより、密着性を高めることができる。

【0063】

最後にケミカルドライエッチングにより、ポリイミドを除去する(図23のk)。ポリイミド除去により、ギャップ6が形成される。

【0064】

上記製造方法を用いることにより、メンブレン7の深さ方向の形状はポリイミドのパターンニングで、面方向の形状は後者の金属膜のパターンニングで行なうことができ、少ない工程数で、容易に高精度なメンブレン7を作成することができる。また、研磨剤と回転板を用いた方法、或いはイオンやイオンクラスタを用いた表面平坦化装置を必要としないため、本発明の製造方法は、膜厚制御性、スループットに優れている。更に、安価な装置でスイッチを製造することが可能であるため、低コストのスイッチを提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0065】

【図1】本発明に係るMEMSスイッチの第一の実施形態を説明するための模式図。

【図2】本発明の第一の実施形態とその制御回路を説明するための等価回路図。

【図3】本発明の第一の実施形態の上部電極に掛かる力の移動距離依存性を示した曲線図。

【図4】本発明の第二の実施形態を説明するための断面図。

【図5】本発明の第二の実施形態を説明するための上面図。

【図6】本発明の第二の実施形態のメンブレンの構造を説明するための斜視図。

【図7】本発明の第三の実施形態を説明するための断面図。

【図8】本発明の第三の実施形態を説明するための上面図。

【図9】本発明の第三の実施例のメンブレンの構造を説明するための斜視図。

【図10】本発明の第四の実施形態を説明するための断面図。

【図11】本発明の第四の実施形態を説明するための上面図。

【図12】本発明の第五の実施形態のメンブレンの構造を説明するための上面図。

【図13】本発明の第六の実施形態を説明するための断面図。

【図14】本発明の第六の実施形態のメンブレンの構造を説明するための斜視図。

【図15】本発明の第七の実施形態を説明するための断面図。

【図16】本発明の第七の実施形態のメンブレンの構造を説明するための斜視図。

【図17】本発明の第七の実施形態とその制御回路を説明するための等価回路図。

【図 1 8】 本発明の第八の実施形態のメンブレンの構造を説明するための平面図。

【図 1 9】 図 1 8 の A - A 線による断面図。

【図 2 0】 図 1 8 の B - B 線による断面図。

【図 2 1】 従来の製造方法で作成した MEMS スイッチを説明するための断面図。

【図 2 2】 従来の別の製造方法で作成した MEMS スイッチを説明するための断面図。

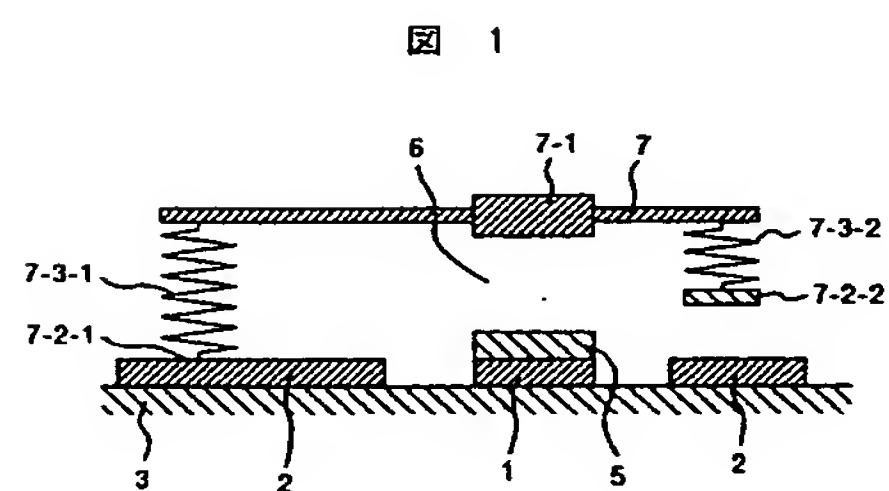
【図 2 3】 本発明の第二の実施形態の製造方法を説明するための工程図。

【符号の説明】

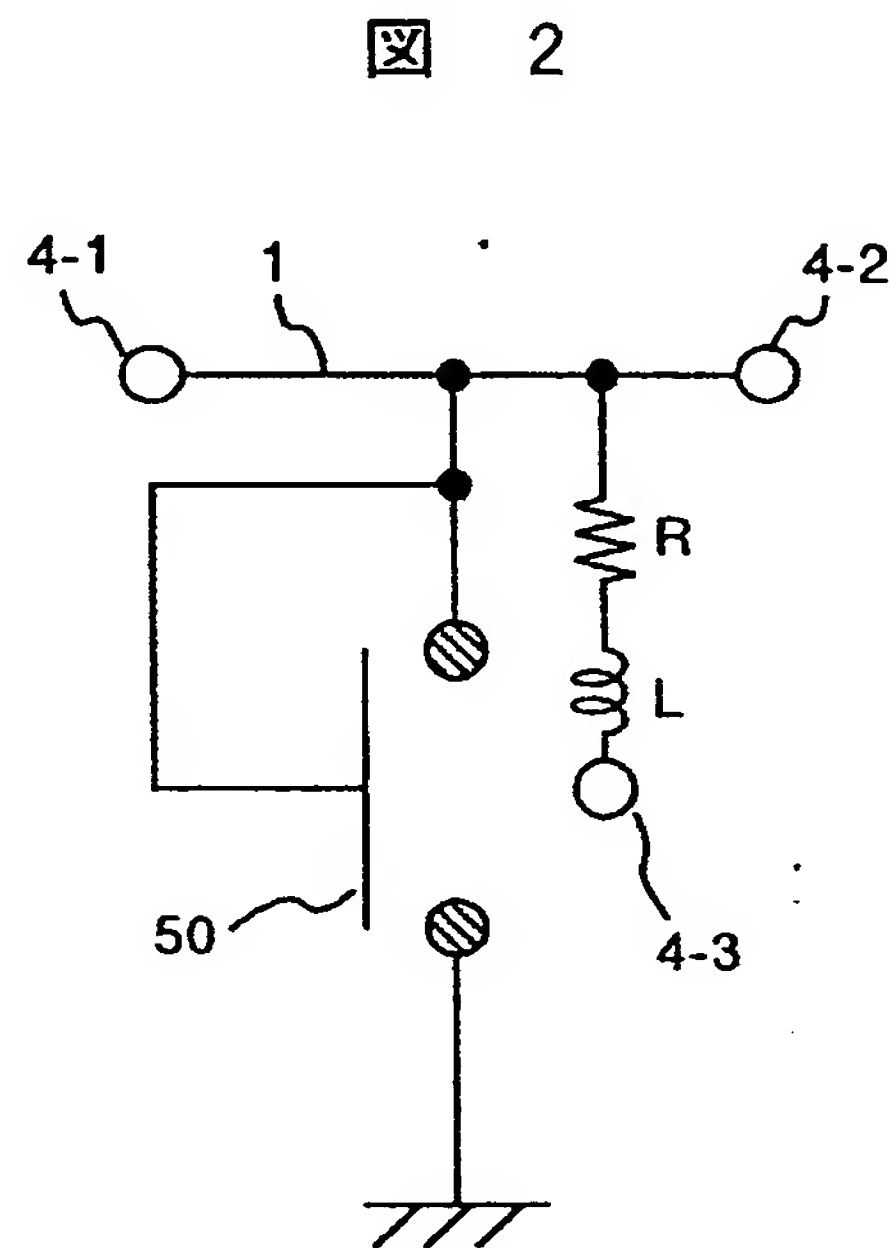
【 0 0 6 6 】

1 … 信号線、2 … グランド、3 … 絶縁基板、4-1… 入力端子、4-2… 出力端子、4-3… 制御端子、5 … 誘電体膜、6 … ギャップ、7 … メンブレン、7-1… 上部電極、7-2… アンカ、7-3… バネ、8 … ディップ、9 … 金属体、50, 51… 高周波スイッチ。

【 図 1 】

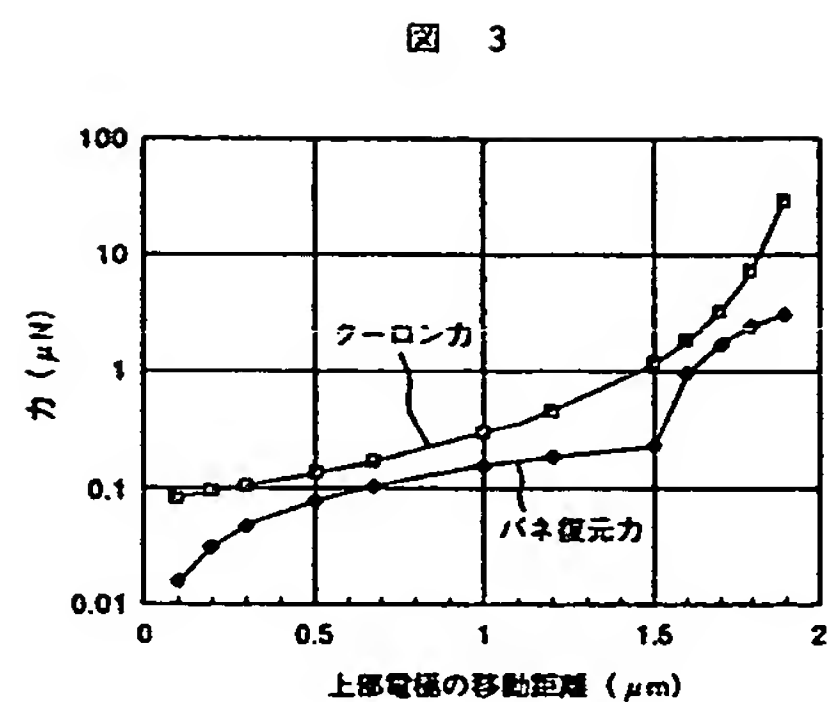


【 図 2 】

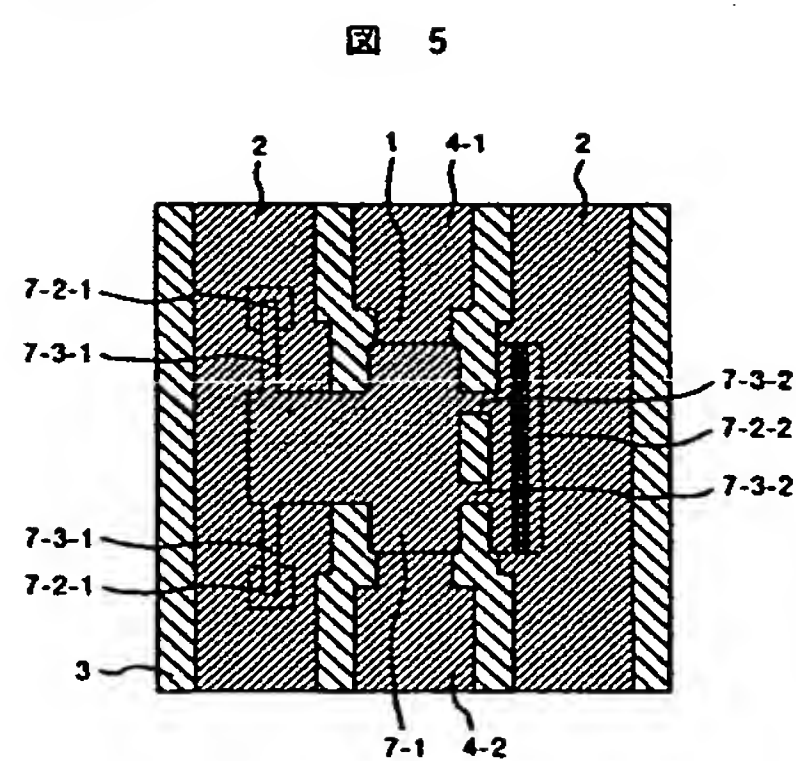




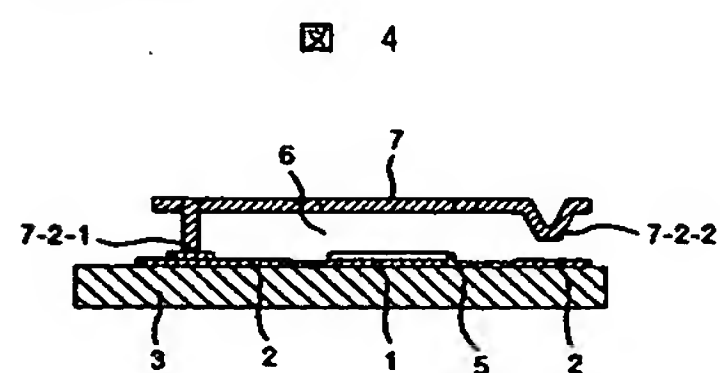
【図 3】



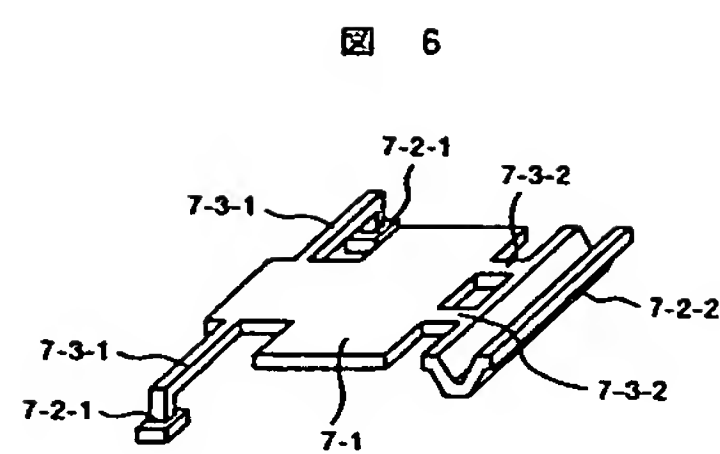
【図 5】



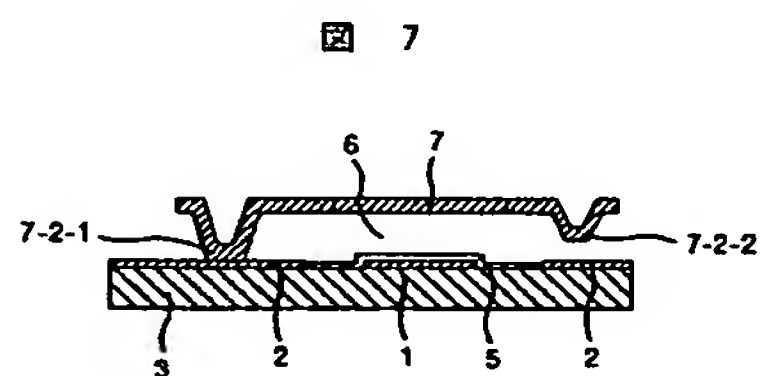
【図 4】



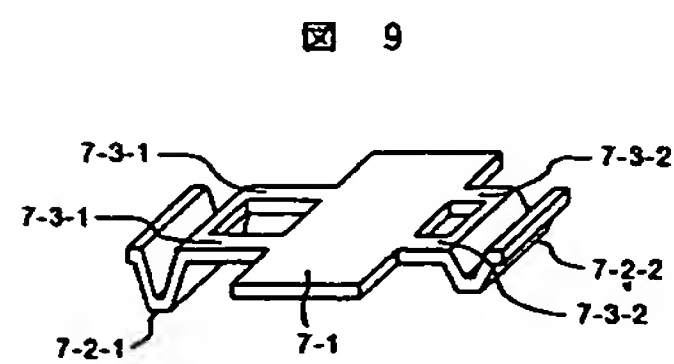
【図 6】



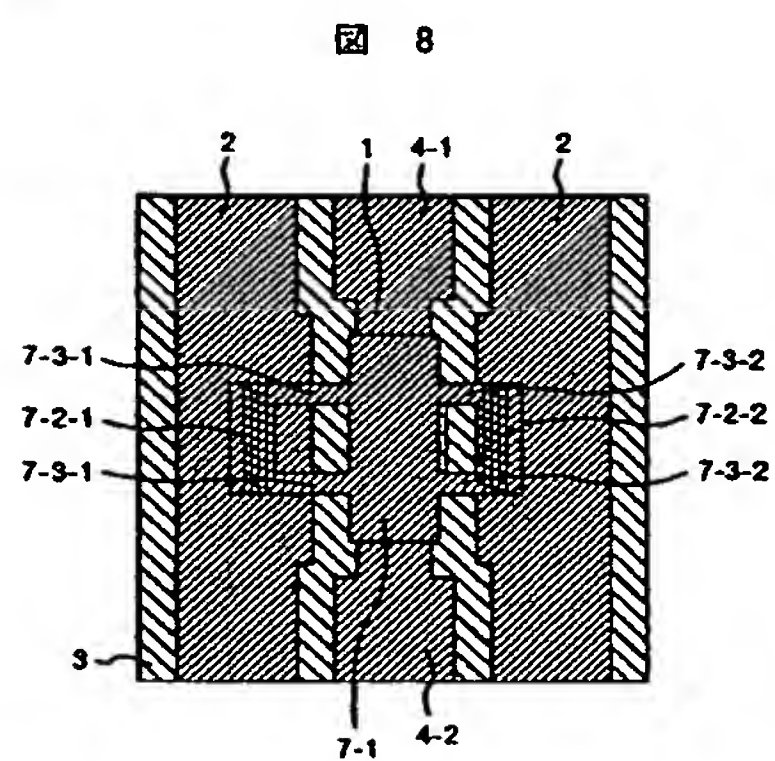
【図 7】



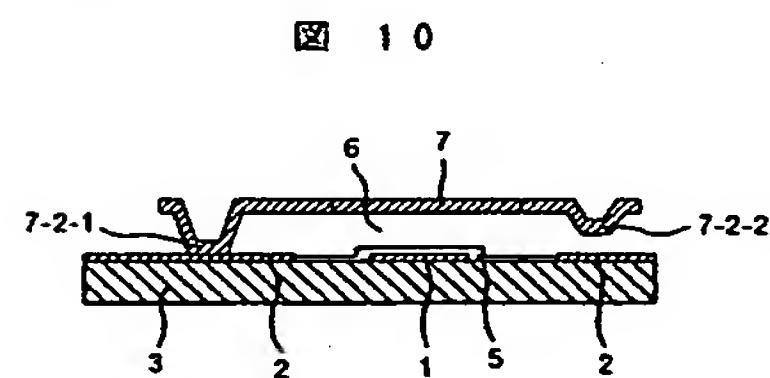
【図 9】



【図 8】

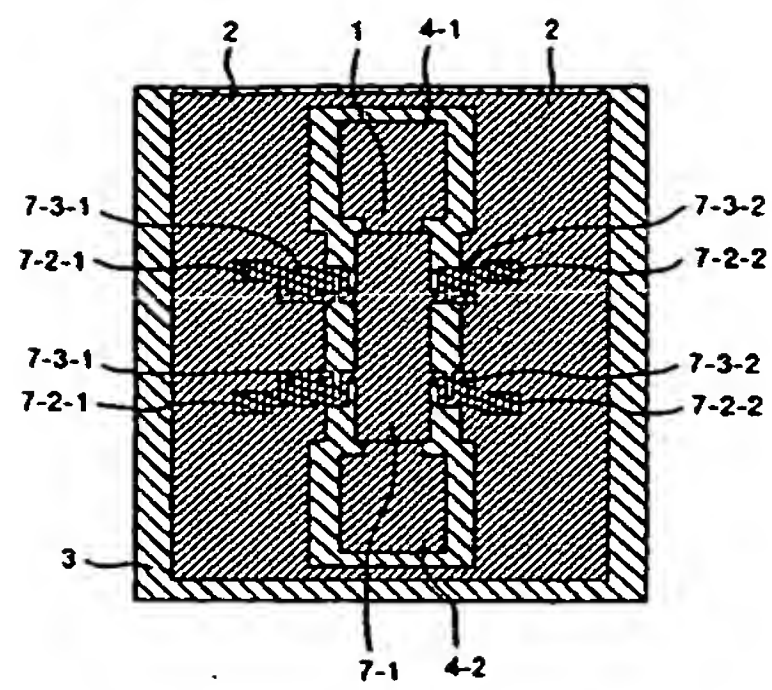


【図 10】



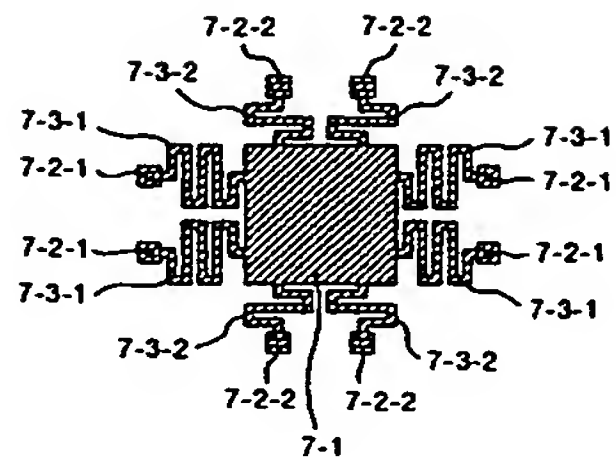
【図 1 1】

図 1 1



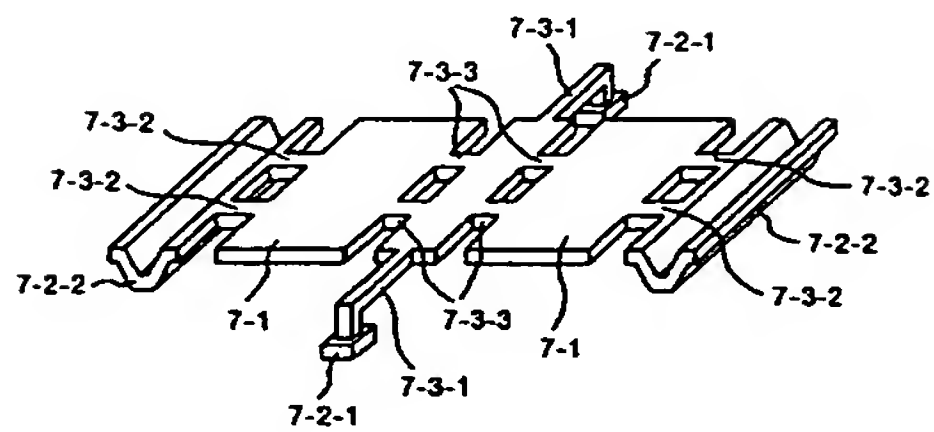
【図 1 2】

図 1 2



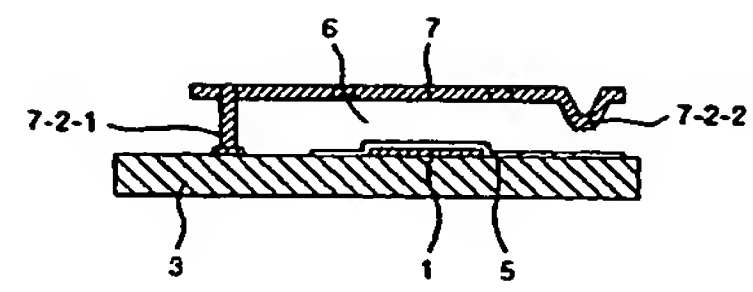
【図 1 6】

図 1 6



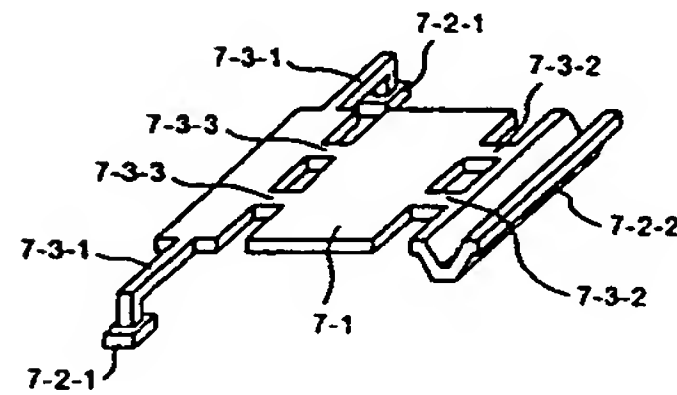
【図 1 3】

図 1 3



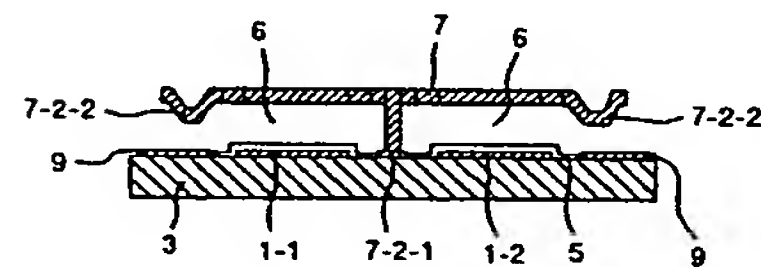
【図 1 4】

図 1 4



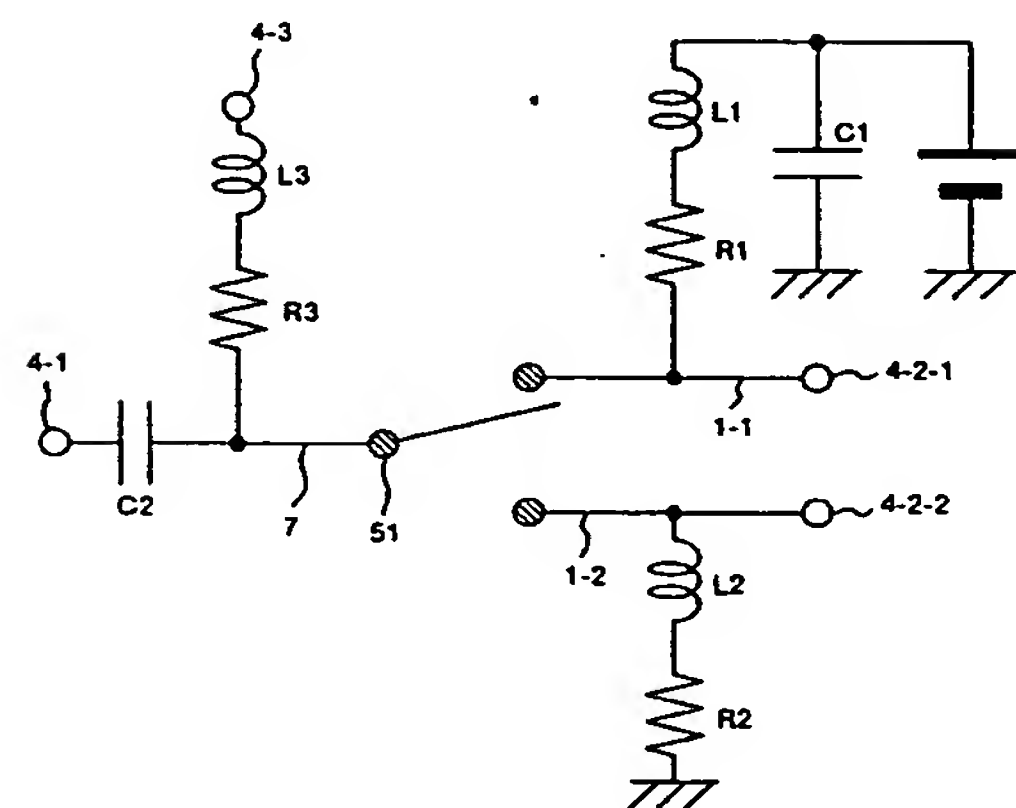
【図 1 5】

図 1 5



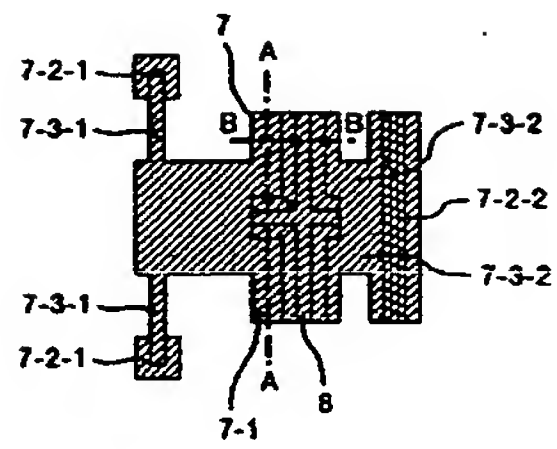
【図 1 7】

図 1 7



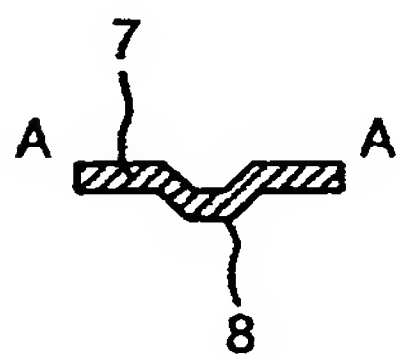
【図 18】

図 18



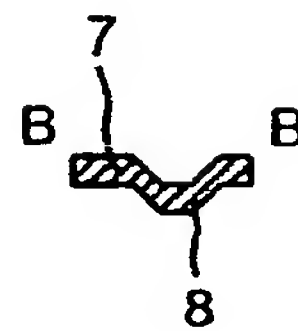
【図 19】

図 19



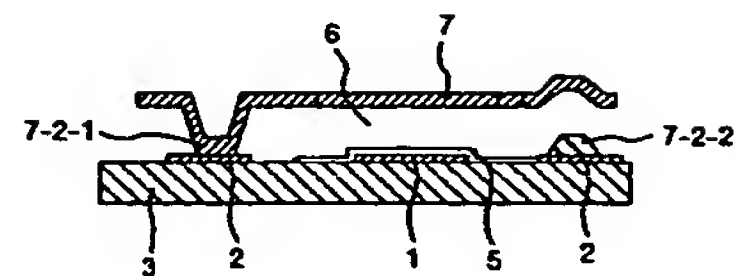
【図 20】

図 20



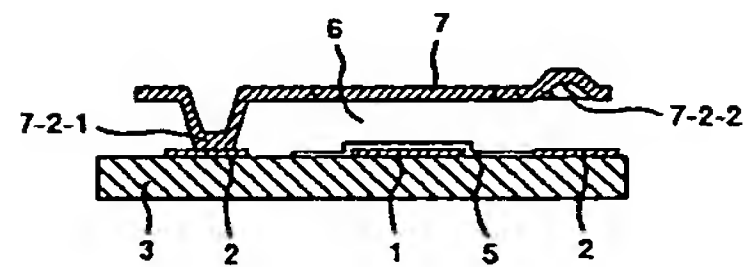
【図 21】

図 21



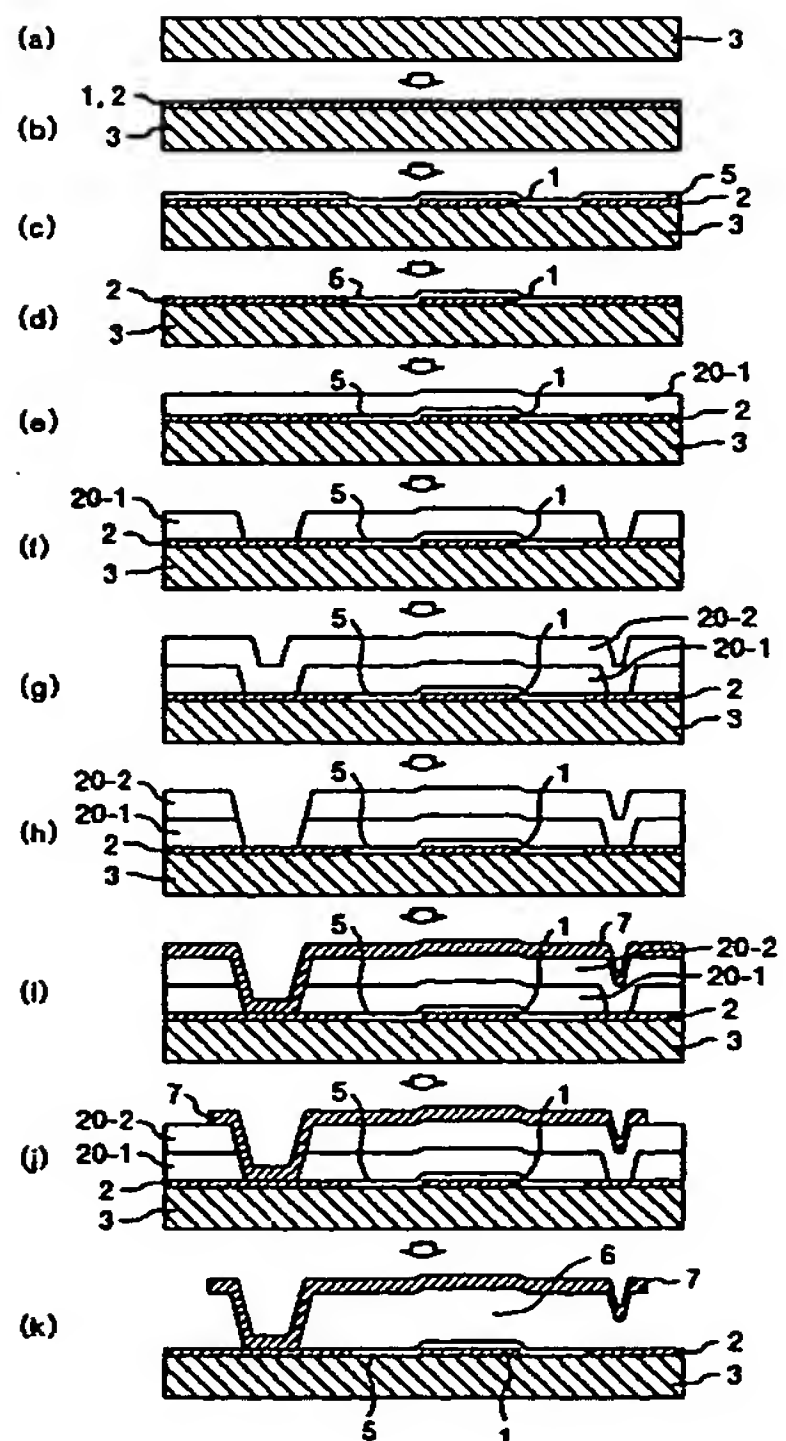
【図 22】

図 22



【図 23】

図 23



---

フロントページの続き

- (72)発明者 寺野 昭久  
東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地 株式会社日立製作所中央研究所内
- (72)発明者 浅井 健吾  
東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地 株式会社日立製作所中央研究所内
- (72)発明者 内山 博幸  
東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地 株式会社日立製作所中央研究所内
- (72)発明者 松本 久功  
東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地 株式会社日立製作所中央研究所内
- Fターム(参考) 5J012 AA06